

## Экспериментальное исследование температурной зависимости дифференциальной и интегральной проводимостей вольфрама

Захаров Юрий Александрович

Баширский государственный университет

Гоц Сергей Степанович, д.ф.-м.н.

[uriyzakhr2012@yandex.ru](mailto:uriyzakhr2012@yandex.ru)

Металлические образцы привлекают внимание исследователей своей возможностью изучения электрофизических характеристик в широком диапазоне изменения температуры образцов [1]. Процесс изучения электропроводности металлов с учетом их нагрева электрическим током представляет собой одну из классических задач, рассматриваемых в экспериментальной физике на протяжении многих десятков лет. Из теоретической физики известно, что характер электропроводности и процессов нагрева металлов подчиняется законам квантовой механики при температурах, ниже Дебаевской, и достаточно точно описывается законами классической физики в температурном диапазоне выше температуры Дебая [2]. Согласно квантовой механике можно ожидать проявление сильной электрической нелинейности по проводимости при температурах ниже Дебаевской. Для обнаружения нелинейности проводимости обычно используют не интегральную, а дифференциальную проводимость [3].

Целью данной исследовательской работы является сопоставление между собой температурных зависимостей дифференциальной и интегральной электропроводностей вольфрама на постоянном токе с точки зрения оценки проявления квантовомеханических процессов в металлах и проявляющихся в температурной зависимости электропроводности.

Задачами данной исследовательской работы являются:

1. Разработка методики оценки температуры нагрева вольфрамовой проволоки электрическим током.
2. Разработка методики вычисления дифференциальной проводимости по множеству экспериментальных отсчетов.
3. Анализ дифференциальной проводимости и сопоставление между собой температурных зависимостей дифференциальной и интегральной электропроводностей вольфрама.

Методика измерения температуры вольфрамовой нити накала взята из [4]. К особенностям работы следует отнести использование относительно небольшого шага дискретизации выставления значения напряжения и использование метода наименьших квадратов для нахождения дифференциальной проводимости.

В качестве объекта исследования использована нить накала термоэмиссионного ионизационного датчика вакуума.

Для нахождения дифференциальной проводимости при напряжении  $U_k$  вольт-амперная характеристика на участке  $[U_{k-n}; U_{k+n}]$  из  $2n+1$  точек аппроксимируется линейной функцией:

$$I(U) = a_k U + b_k. \quad (1)$$

где  $a_k$  и  $b_k$  находятся с помощью метода наименьших квадратов.

Дифференциальная проводимость  $G_d(U_k)$  находится через коэффициент  $a_k$ :

$$G_d(U_k) = \frac{\partial I}{\partial U} = a_k = \frac{(2n+1) \sum_{i=k-n}^{k+n} U_i I_i - \sum_{i=k-n}^{k+n} U_i \sum_{j=k-n}^{k+n} I_j}{(2n+1) \sum_{i=k-n}^{k+n} U_i^2 - \left( \sum_{i=k-n}^{k+n} U_i \right)^2}. \quad (2)$$

На рисунке 1 показаны графики зависимостей интегральной (кривая 1) и дифференциальной (кривая 2) проводимостей вольфрама от температуры. Сопоставление между собой представленных зависимостей показывает, что при температурах, ниже температуры Дебая  $T_D$  ( $T_D \approx 405$  К) темп изменения дифференциальной проводимости существенно выше, чем у интегральной проводимости. С увеличением температуры темп убывания дифференциальной проводимости снижается и в области температур существенно выше дебаевской дифференциальная проводимость мало зависит от температуры.

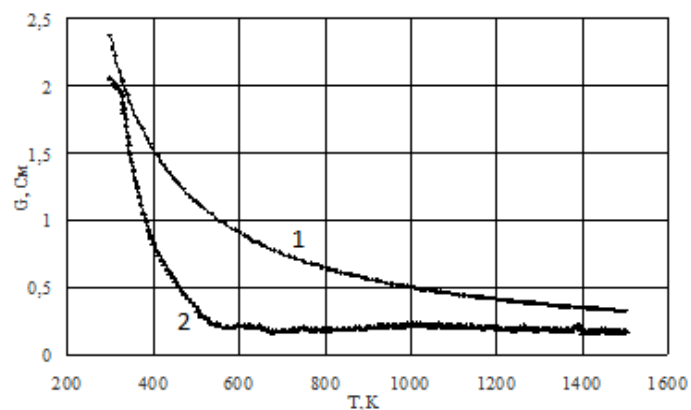


рис.1. Зависимости интегральной (кривая 1) и дифференциальной (кривая 2) проводимостей от температуры для вольфрамовой проволоки

Таким образом, для цепей постоянного тока использование дифференциальной проводимости позволяет значительно глубже проникнуть в специфику физических процессов, описываемых в классическом и квантовом приближении, а использование интегральной проводимости не отслеживает специфику физических процессов.

Список публикаций:

- [1] Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твёрдого тела. Том 2 / Перевод с англ. М.: Мир, 1979. 424 с.
- [2] Гоц С. С., Захаров Ю. А., Бахтизин Р. З. Модель дробового шума в макроскопических металлических образцах на низких частотах// Актуальные проблемы нано- и микроэлектроники: тезисы докладов Всероссийской молодежной конференции. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2016. С. 52-53.
- [3] Мартынов В. А., Голубев А. Н., Алейников А. В. Применение метода переменных состояния к анализу стационарных и динамических режимов нелинейных электромагнитных устройств// Вестник ИГЭУ. – 2015. № 4. С. 27 – 33.
- [4] Захаров Ю. А., Гоц С. С. Усовершенствование методики измерения температуры нагретой проволоки методом термосопротивления// Инновации и наукоемкие технологии в образовании и экономике: материалы международной молодежной научной конференции. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2016. С. 55 – 58.

## Исследование свойств поверхностного слоя конструкционных и инструментальных сталей, обработанных при низкой температуре в плазме электронного пучка

**Колеух Дианна Сергеевна**

*Крутиков В.И., Спиринов А.В., Мамаев А.С.*

*Институт электрофизики УрО РАН*

*Спиринов Алексей Викторович, к.т.н.*

*[diannochka@bk.ru](mailto:diannochka@bk.ru)*

На сегодняшний день одним из перспективных направлений металлообработки является магнитно-импульсная обработка (МИО). Основной проблемой в этой области является малый ресурс основного инструмента обработки – индуктора, который обусловлен интенсивными термомеханическими нагрузками, возникающими при протекании через индуктор в рабочих условиях большого тока, сопровождающегося перегревом токового слоя, а также из-за воздействия на проводник давления сильного магнитного поля. Поэтому задача изучения механических свойств индукторов и их изменения в процессе эксплуатации и выбор материала, стойкого к сильным импульсным магнитным полям, несомненно, имеют актуальность.

Для изготовления индукторов целесообразно применять высокопрочные тугоплавкие материалы, способные работать в условиях интенсивных термомеханических нагрузок, например, конструкционные стали. В последних работах авторов [1,2] для магнитно-импульсной сварки труб использовали одновитковые индукторы из стали 30ХГСА. Использование для этого стали обусловлено её невысокой стоимостью, доступностью и высокой прочностью. Кроме того, прочностные свойства стали могут быть улучшены, например, ионно-плазменной обработкой. Этот подход по модификации рабочей поверхности стальных индукторов в аргон-азотной плазме разряда предложен авторами недавно [3], и полученный результат (эффект) в полной мере еще не изучен. В настоящей работе приведены результаты исследований прочностных свойств, структурных и микроструктурных характеристик поверхностного слоя легированных сталей семи марок, обработанных в плазме электронного пучка при низкой температуре, 400 – 500°C.

В работе были исследованы отечественные конструкционные стали 30ХГСА, 40Х, 50ХГА, специально разработанная для изготовления азотируемых деталей жаропрочная релаксационностойкая сталь 38Х2МЮА, инструментальные штамповые стали 3Х2В8Ф и 4Х5В2ФС, а также высокоуглеродистая инструментальная сталь У8А. Тестовые образцы представляли собой пластинки с размерами 10х20х2 мм. Для сравнения часть